

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA
Katedra geologického inženýrství

**ANALÝZA MOŽNÝCH VÝSKYTŮ HAVÁRIÍ
PŘI VRTÁNÍ HLUBOKÝCH
GEOTERMÁLNÍCH VRTŮ**

**THE ANALYSIS OF POSSIBLE ACCIDENTS
OCCURRENCES DURING DRILLING OF
DEEP GEOTHERMAL WELLS**

Vedoucí práce:

Ing. Martin Klempa, Ph.D

Autor práce:

Václav Přikryl

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geologického inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Václav Přikryl**
Studijní program: B2110 Geologické inženýrství
Studijní obor: 2101R003 Geologické inženýrství
Téma: **Analýza možných výskytů havárií při vrtání hlubokých geotermálních vrtů**
The Analysis of Possible Accidents Occurrences during Drilling of Deep Geothermal Wells

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Hloubení hlubokých geotermálních vrtů – technika a technologie
3. Analýza možných havárií při vrtání hlubokých geotermálních vrtů
4. Vybrané havárie – příčiny, následky, možná řešení
5. Závěr

Rozsah závěrečné práce 35 – 50 normostran.

Seznam doporučené odborné literatury:


Gabolde, G.; Nguyen, J.-P.: Drilling Data Handbook. Editions TECHNIP, Paris, France, 2014. ISBN: 978-2-7108-0971-5
Lyons, W.; Carter, T.; Lapeyrouse, N.: Formulas and Calculations for Drilling, Production and Workover. Elsevier, USA, 2012. ISBN: 978-1-85617-929-4
Zeman, V.; Pinka, J.; Klempa, M.; Struna, J.: Technika a technologie vrtných prací – I. díl Technika pro provádění vrtných prací. Marionetti Press, Ostrava 2014. ISBN: 978-80-905737-0-3.
Zeman, V.; Pinka, J.; Klempa, M.; Struna, J.: Technika a technologie vrtných prací – II. díl Základy technologie vrtných prací. Marionetti Press, Ostrava 2014. ISBN: 978-80-905737-0-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

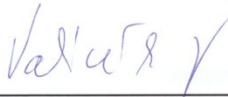
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Klempa, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Jakub Jirásek, Ph.D.
vedoucí institutu




doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencovaná pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 4. 2017

Václav Přikryl

ANOTACE PRÁCE

Hlavním cílem této práce bude stručně popsat co je to geotermální energie, její potenciální využití a to především z hlediska využití jako vysokoteplotní zdroj. A to z důvodu průzkumu a možné využití této energie, kterou ukrývá naše planeta země je v dnešní době čím dál víc skloňována.

Nadále se budeme zabírat problematikou spojenou s řešením geotermálních projektů z hlediska vrtání těchto vrtů. Především z důvodu, že oblasti kde se tento vysoko potenciální teplotní zdroj nachází, je ukryt hluboko v zemské kůře v hloubkách nad 5000 m a technologie a technika vrtání takto hlubokých vrtů, je mírně odlišná, než pro klasické vrty na uhlovodíky (ropa a zemní plyn). Také budou uvedeny některé z vybraných havárií popsány příčiny vzniku samotné havárie, její následky a možná řešení a likvidace těchto havárií.

Klíčová slova:

Analýza, energie, geotermální, horizont, kladkostroj, kymera, počva, potenciální, projekt, vrt, Země

ABSTRACT

The main aim of this thesis is to briefly describe what geothermal energy is, its potential use, especially in terms of its use as a high temperature source. That is for the reason that the exploration and possible use of this energy, which our planet Earth is hiding, is becoming more and more prevalent nowadays.

The thesis will further address the issues related to geothermal projects in terms of drilling of these wells. Mainly because the areas, where this high-potential source of heat is located, are buried deep in the Earth's crust at depths of over 5 000 metres , and the technology and technique of drilling deep boreholes is slightly different than for conventional hydrocarbon drilling (oil and natural gas). The thesis will also describe selected accidents and its causes, consequences and possible solutions in regards to removal of these accidents.

Key words:

Analysis, energy, geothermal, horizon, traveling block, holes, kymera, potential, project, well, Earth

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych velmi rád poděkoval především vedoucímu mé práce panu Ing. Martinu Klempovi, Ph.D, za odbornou konzultaci a trpělivost, dále pak panu Luďkovy Kozlíkovi a Ing. Tomáši Novotnému, za poskytnutí materiálů využitých při tvorbě této bakalářské práce.

OBSAH

OBSAH	7
1. ÚVOD	9
1.1. Geotermální energie	10
1.2. Zdroje geotermální energie	11
1.2.1. Hydrotermální zdroje	11
1.2.2. Energie z horkých suchých hornin (hot dry rock - HDR).....	12
1.2.3. Energie magmatu	13
1.3. Využití geotermální energie k proměně na energii elektrickou	13
1.3.1. Princip mokré páry (Flash Steam).....	14
1.3.2. Princip suché páry (Dry Steam)	14
1.3.3. Princip binárního cyklu	14
1.3.4. Hlubinné hydrotermální zdroje	14
1.4. Využití geotermální energie pro vytápění.....	15
1.5. Využití geotermální energie v Evropě	16
1.6. Využití geotermální energie v České republice	17
2. Hloubení hlubokých geotermálních vrtů – technika a technologie.....	20
2.1. Základní části projektu hlubinného geotermálního vrtu	20
2.1.1. Část geologická obsahuje zpravidla tyto základní údaje	20
2.1.2. Část technická obsahuje minimálně tyto základní údaje	21
2.1.3. Rozpočtová část obsahuje kalkulace následujících kapitol:.....	21
2.2. Modelové vystrojení geotermálního vrtu	22
2.2.1. Řídící kolona	22
2.2.2. Úvodní kolona.....	23
2.2.3. Technické kolony	24
2.3. Kolona vrtného nářadí.....	24
3. Analýza možných havárií při hloubení hlubokých geotermálních vrtů	26
3.1. Poruchy ve vrtném průmyslu	26
3.2. Nejčastější havárie vrtného nářadí	29
3.2.1. Havárie dláta	29
3.2.2. Rozpojení vrtné kolony	30
3.2.3. Uvznutí vrtného nářadí.....	32
4. Vybrané havárie – příčiny, následky, možná řešení	35

4.1. Hávarie dláta – zapíchnutí dláta.....	37
4.2. Likvidace havárie – fishing job.....	40
5. Závěr	44
Seznam použité literatury.....	45
Seznam obrázků	48

1. ÚVOD

V dnešní době je často skloňovaným výrazem zelená energie a to nás také přivádí k energii, kterou ukrývá naše planeta Země tzv. Geotermální energie. V současnosti bývá často zmiňována jako čistá energie, kterou produkuje naše Země. Díky současným technologiím mohou geotermální energii (nízko i vysoko potenciální) využívat jak malé domácnosti, tak velké firmy, nebo celá města, jako tepelný zdroj nebo zdroj pro výrobu elektrické energie.

Oblasti kde se geotermální energie (vysoko potenciální) vyskytuje, jsou většinou hluboko pod zemským povrchem, v hloubkách nad 5000 m a technologie na hloubení těchto hlubokých vrtů vyžadují odlišné konstrukční řešení, než jsou „klasické vrty“ na uhlovodíky (ropu a zemní plyn).

Náročnost hloubení těchto vrtů spočívá zejména ve větších průměrech hloubených vrtů a jejich větší hloubce. Rovněž litologie zvolených oblastí bývá velmi odlišná od klasických uhlovodíkových lokalit. Jedná se většinou o oblasti granitoidní, které se vyznačují velkou tvrdostí a abrazivností. Tedy nastává také větší pravděpodobnost neočekávaných situací a možných havárií. Jelikož čím hlouběji a déle vrtáme, tím je větší pravděpodobnost havárie a krizových situací.

Tato práce se bude zabývat obecně geotermální energií (zejména vysoko potenciální), odlišnostmi mezi klasickými vrty na uhlovodíky a vrty geotermálními a také nejčastějšími haváriemi při hloubení těchto vrtů. Bude popisovat, jak vlastně ve skutečnosti k těmto haváriím dochází a jaké jsou možnosti likvidace těchto havárií a to i díky vlastním zkušenostem s těmito vrty.

1.1. Geotermální energie

Energie, která ještě neprošla žádným procesem modifikace nebo transformace, je nazývána energií primární. Primární energie se nachází ve zdrojích neobnovitelných (uhlí, surová ropa, uran, zemní plyn) i obnovitelných (energie solární, vodní, větrná, geotermální). (Coakley *et al.*, 2009)

Jak už vyplývá z názvu, je geotermální energie tepelnou energií Země, kterou je možné nalézt kdekoliv na planetě. Zdroje geotermální energie jsou rozloženy nerovnoměrně, řada z nich byla nalezena neočekávaně při vrtech realizovaných při těžbě zemního plynu a ropy. Nejobvyklejší je výskyt ve formě gejzírů, vyvěrajících pramenů nebo sopek na místech, kde spolu v kůře planety hraničí tektonické desky. (Myslil *et al.*, 2007, Škorpík, 2014).

Využití geotermálních zdrojů ovlivňuje geologické složení, technická a ekonomická vyspělost daného státu a jeho péče o životní prostředí, počítaje v to i snahu o omezení skleníkového efektu. Geotermální energie je ve své podstatě zdrojem pro využití v místě, kde se její zásoby nalézají. Její využití je ohraničeno zejména tím, že cena získané energie by neměla být vyšší než cena, která je vynaložena na její čerpání. Významná je přítomnost či nepřítomnost užitkové vody sloužící k přenosu tepla. (Dřimal, 2016)

Geotermální zdroje se podle teploty rozdělují na vysokoteplotní, středně teplotní a nízkoteplotní. Zdroje vysokoteplotní dosahují teplot nad 200 °C, je možné je využít na přímou výrobu elektrické energie a nalézají se výlučně v sopečně aktivních oblastech (v Evropě na Islandu, Itálii a Řecku). Středně teplotní zdroje, které se využívají jak pro přímé vytápění, tak pro výrobu elektřiny, mají teploty mezi 150° až 200°C. Nízkoteplotní zdroje jsou ze všech zdrojů nejčastější, nacházejí se jak v sopečně aktivních oblastech, tak i v oblastech ostatních. Dosahují teplot pod 150°C a využívají se k vytápění domů, skleníků, pro tepelná čerpadla a pro řadu procesů v průmyslu. (Dřimal, 2016)

Vedle teplot je podstatné rovněž množství vody, kterou je možné vyčerpat na povrch. Vyšší výkony vyžadují vyšší množství vody a podle toho musí být dimenzovaný průměr vrtu a výkon čerpadla. Dalším podstatným faktorem je teplota vody, která nesmí při přepravě potrubím příliš klesnout. Velké elektrárny odbírají z podloží více tepla, než se ho ve využívaném území nachází, a tak se nedá zcela zabránit postupnému ochlazování dané oblasti. Vzdálenost vrtů se tedy musí přizpůsobit

tomu, aby se v daném území mohla odebírat voda požadované teploty minimálně 30 let. Po této době mohou teploty poklesnout pod zamýšlenou hodnotu, čímž nepochybně poklesne rovněž výkon elektrárny a pro další využití oblasti je nutné otevřít další lokalitu, obvykle jen několik kilometrů od lokality stávající. (Dřímál, 2016)

První elektrárnou založenou na využití tepelné energie Země byla elektrárna na páru, která byla postavena roku 1904 ve městě Larderello v Itálii. V současnosti tato elektrárna zásobuje elektřinou zhruba milion italských domovů a produkuje zhruba 5000 GWh elektrické energie ročně, což představuje okolo 10 % celkové světové produkce elektřiny z geotermálních zdrojů. (Špičková, Šturcová, Šudřichová, 2010)

1.2. Zdroje geotermální energie

Vznik Země je odhadován na dobu před zhruba 4,6 miliardami let. V té době byla nestálou a vřelou planetou. Postupem času se povrch Země ochlazoval a při tomto procesu vznikající zemská kůra tuhla do větší hloubky. Země je složená z jádra, které má vnitřní a vnější část, z pláště skládajícího se z vnitřní, střední a vnější části a ze zemské kůry. (Dřímál, 2016)

Nejvyšší vrstvy zemského pláště spolu se zemskou kůrou vytvářejí litosféru, která je tvořena sedmi velkými a několika menšími litosférickými deskami. Tyto desky se vzájemně ovlivňují svými silami a vůči sobě se pohybují. (Dřímál, 2016)

Z hlediska využití geotermální energie jsou oblasti, které se nacházejí na předělu litosférických desek, nevýhodnější, protože na těchto místech dochází k uvolňování enormního množství energie a rovněž k většímu výskytu sopečné činnosti. Vysokoteplotní zdroje geotermální energie se v těchto oblastech vyskytují poměrně mělce pod povrchem a je tedy možné je účinně využívat (DiPippo, 2012)

1.2.1. Hydrotermální zdroje

Zdroje hydrotermální energie mohou být využívány za podmínky, že na území, kde se zdroj nachází je propustné podloží, krycí nepropustná vrstva, dostatečná zásoba vody, velký zdroj tepla a bezpečný, opakující se cyklus přísunu studené vody a následující ohřev.

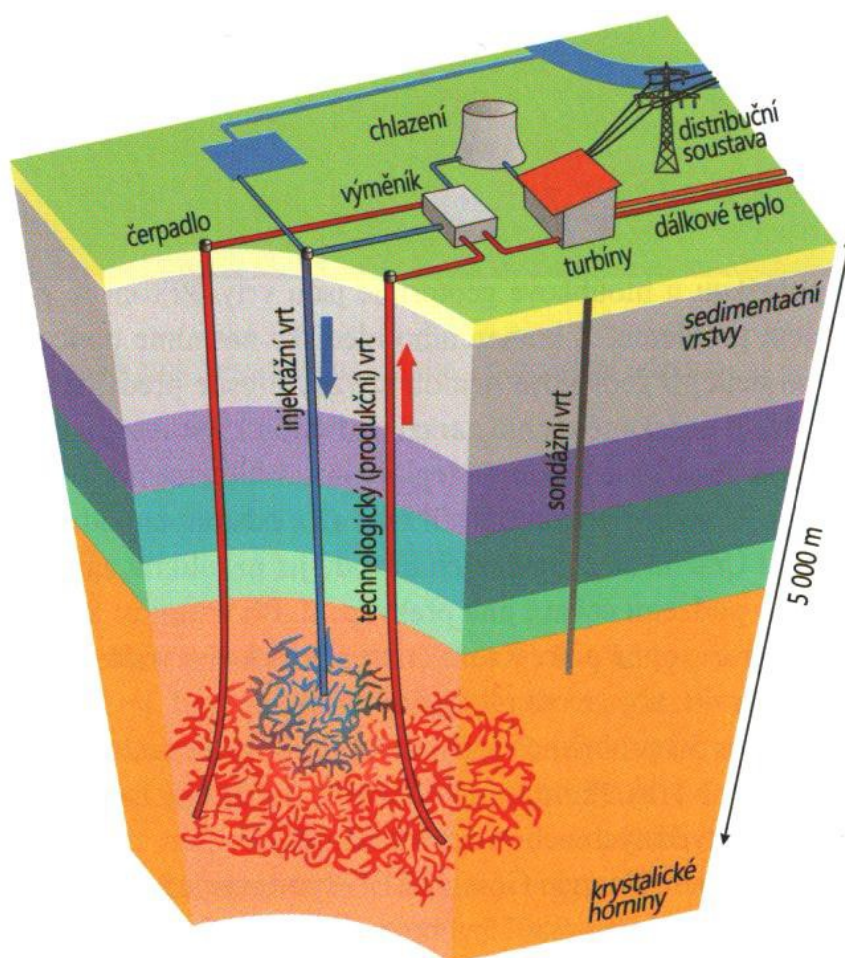
Studená voda (např. dešťová), je vsakována do země a postupně proniká do nižších vrstev, ve kterých přichází do styku se žhnoucími horninami. Propustná vrstva půdy, která průchodu vody klade jen nepatrný odpor, se stává působením ohřívající se

vody méně hustou a vznikají zde velké zlomy. Těmito zlomy se voda přesunuje vzhůru k povrchu, přičemž dochází k poklesnutí tlaku a následnému dosáhnutí bodu varu.

Na tomto místě dojde ke vzniku páry, která uniká ven v podobě horkých pramenů, gejzírů nebo bahnitých jezírek. (DiPippo, 2012)

1.2.2. Energie z horkých suchých hornin (hot dry rock - HDR)

V určitých předpokládaných místech pod povrchem se nalézají zásoby horkých suchých hornin, pro vodu prakticky nepropustných. Pro využití zdroje HDR je tedy potřeba pomocí vrtů vytvořit soustavu fungující na principu tepelného výměníku (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: Princip HDR elektrárny Zdroj: Dřímál, 2016

Do tohoto systému je přiváděna studená voda, která odebírá teplo okolním žhnoucím horninám. Důsledkem velkého tlaku, kdy se nemůže přeměnit v páru, vyvěrá na zemský povrch jako přehřátá kapalina, která je posléze přeměněna na páru nebo je její tepelná energie odebrána v povrchovém tepelném výměníku. (Myslil *et al.*, 2007)

Mezi výhody energie HDR patří stálý zdroj energie, malá produkce nezdravých látek, malé množství vyprodukovaného CO₂ a přes počáteční vyšší náklady je HDR výhodná i z ekonomického hlediska. Tento systém je v podstatě možné využít v kterékoliv lokalitě.

K efektivnímu využití HDR jsou nutné následující předpoklady:

- hloubka vrtu by neměla být vyšší než 5 km (tato hodnota může být v závislosti na gradientu dané oblasti odlišná)
- plocha by neměla přesahovat 3 km²
- teplota v dané hloubce musí dosahovat alespoň 180 °C (DiPippo, 2012)

1.2.3. Energie magmatu

Magma se v určitých oblastech nalézá velmi blízko zemského povrchu. Teorie principu využívání tohoto zdroje energie je založená na vrtu vedeném přímo do magmatu. Tímto vrtem má být do magmatu pod velkým tlakem pumpována studená voda, která promění magma v pevnou skelnou látku, jež má sklon v důsledku napětí způsobeného tepelnou změnou praskat. Voda ohřátá na velmi vysokou teplotu se vrací na povrch prasklinami a je možné ji využít v elektrárnách, které pracují na principu Clausius - Rankinova cyklu, kdy voda v průběh cyklu mění své skupenství. (DiPippo, 2012)

Ve využití energie magmatu probíhá v současnosti zkušební provoz na Islandu. (Michl, 2016)

1.3. Využití geotermální energie k proměně na energii elektrickou

Využití geotermální energie k přeměně na energii elektrickou je možné jen v lokalitách, které mají vyšší geotermální aktivitu nebo vyšší tepelný gradient, a rovněž vhodnou strukturu podzemí pro realizaci několikakilometrového vrtu. (Vobořil, 2018)

V současnosti jsou využívány tři typy geotermálních elektráren: elektrárna na mokrou páru (Flash Steam), elektrárna na suchou páru (Dry Steam) a binární elektrárna (Binary Cycle). (Vobořil, 2018)

1.3.1. Princip mokré páry (Flash Steam)

Systém elektrárny na mokrou páru je nejrozšířenějším druhem geotermálních elektráren. Tento systém využívá vodu, která má teplotu vyšší než 160°C. Horká voda je čerpána pod vysokým tlakem na povrch, kde se snížením tlaku část vody změní na páru, přičemž vzniká „výbuch“. Pára je využita k pohonu turbíny a nevyužitá ochlazená voda se vrací zpět do rezervoáru, aby se znovu ohřála o žhavé horniny. (Ryan, 2017)

1.3.2. Princip suché páry (Dry Steam)

Systém elektrárny na suchou páru využívá pro pohon turbíny geotermální páru získanou přímo ze Země. K použití této technologie je nutný geotermální zdroj o velmi vysokých teplotách okolo 200° až 300°C, obvykle v tektonických oblastech (Island, Itálie, Nový Zéland, USA). Pára se využívá rovnou pro pohon generátoru parní turbíny (Vobořil, 2018). Tato metoda výroby elektřiny z geotermálních zdrojů je nejdéle a nejvíce používaná kvůli své jednoduchosti a menší finanční náročnosti. Na systému suché páry pracuje už zmíněná první elektrárna v Larderellu v Itálii. V současnosti největší elektrárna, jejíž generovaná energie je dostatečná pro zásobování města o velikosti San Francisca, je elektrárna The Geysers v Kalifornii postavená roku 1960. (Špičková, Štuncová, Šudřichová, 2010)

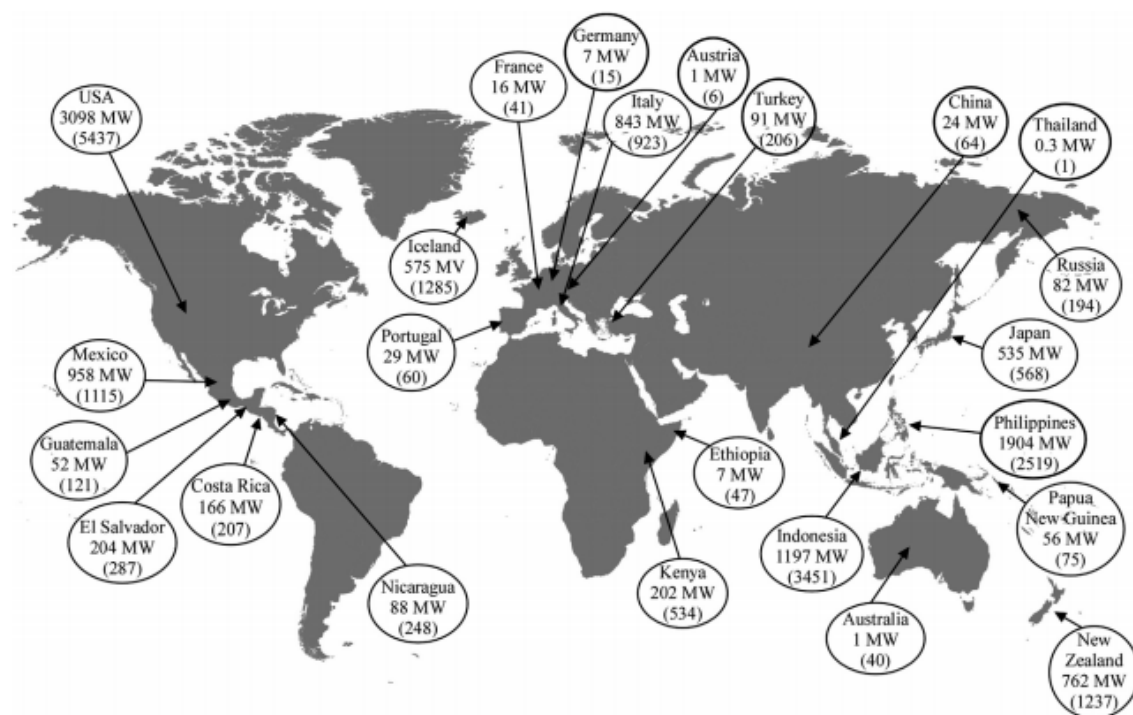
1.3.3. Princip binárního cyklu

V binárních elektrárnách předá horká voda energii teplotně nosnému médiumu. Toto médium bývá organická kapalina (propan, freon, isobutan), která má při nízkých teplotách vysoký tlak par a nízký bod varu. Médium je ohříváno ve výměníku, odkud se odpařuje i při nízkých teplotách a tato pára poté pohání turbínu. Ochlazená vodní pára se následně uvolní zpět do rezervoárů, takže cyklus může začít znovu. Binární cyklus je uzavřený systém, z něhož neuniká do atmosféry žádný plyn. Tyto elektrárny jsou využívány pro nízko a středně teplotní geotermální zdroje. (Yan, 2011)

1.3.4. Hlubinné hydrotermální zdroje

Tyto tepelné zdroje byly objeveny poměrně nedávno. Při hlubinných vrtech realizovaných pro výstavbu HDR elektráren v Evropě a Austrálii, byly objeveny zdroje horké vody nalézající se v určitých oblastech v hloubkách mezi 2,5 a 4 km pod zemským povrchem (viz Obrázek 2).

Teplota vody v těchto místech závisí na gradientu daného území, například v místech, kde je gradient roven $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$, má hydrotermální zdroj v hloubce 4 km teplotu mezi 120 až 140°C . (DiPippo, 2012)

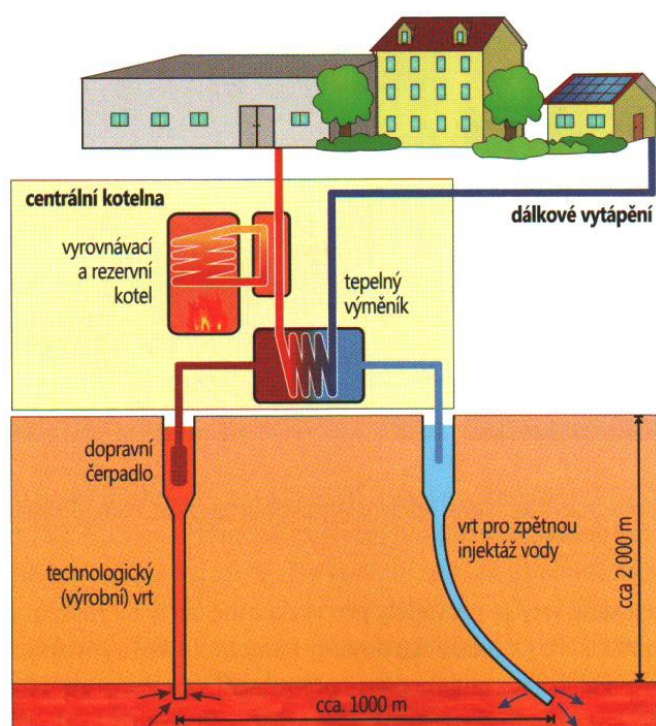


Obrázek 2: Elektrická energie celosvětově produkovaná z geotermálních zdrojů v roce 2010 a plánovaný nárůst do roku 2015 (Arnórsson, Thórhallsson a Stefánsson, 2016)

1.4. Využití geotermální energie pro vytápění

K vytápění různých objektů se používají buď tepelná čerpadla (nízko potencionální geotermální energie), nebo geotermální teplárny (vysoko potencionální geotermální energie). Tepelné čerpadlo je schopné přeměnit nízkopotenciální teplo ze země, geotermálních vrtů či vřidel na teplo vhodné pro vytápění či ohřívání vody.

V případě geotermální teplárny (Obrázek 3) jde obvykle o spojení výtopny a elektrárny, kdy se k vytápění a ohřevu vody využívá odpadní teplo vzniklé při produkci elektřiny. (Vobořil, 2018)



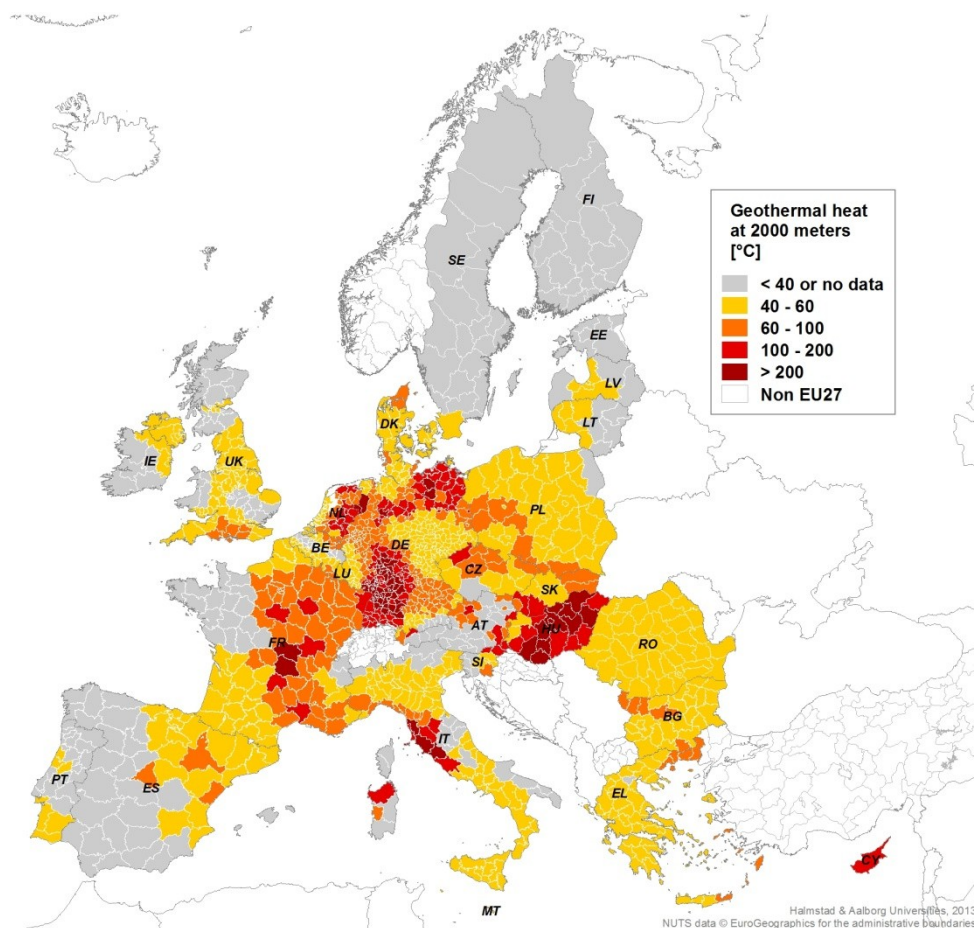
Obrázek 3: Schéma geotermální teplárny (Dřímál, 2016)

1.5. Využití geotermální energie v Evropě

Evropa drží ve využívání geotermální energie celosvětové prvenství. Tepelnou energii Země využívá 32 evropských států, a to zejména k ohřevu vody, vytápění budov, lázeňství a k výrobě elektřiny. Zařízení využívající geotermální energii k výrobě elektřiny stojí jen v několika evropských státech (Island, Itálie, Rakousko, Francie, Německo, Portugalsko, Rusko a Turecko). (Kepínska, 2008)

V Evropě se hodnoty tepelného toku v průměru pohybují v rozmezí 30 až 40 mW/m^2 . V některých starých geologických územích z období prekambria a v alpských oblastech se tyto hodnoty pohybují mezi 70 až 80 mW/m^2 . Na seismicky aktivních územích Turecka, Islandu nebo Itálie se hodnoty tepelného toku pohybují v rozmezí 80 až 100 mW/m^2 . (Kepínska, 2008)

Přehled geotermálních zdrojů z hloubek nad 2 km je uveden na Obrázku 4.



Obrázek 4: Geotermální zdroje v hloubce 2 km v Evropě (Chamorro *et al.*, 2014)

1.6. Využití geotermální energie v České republice

Potenciál využití geotermální energie je v jednotlivých částech České republiky značně proměnlivý, zejména v souvislosti s hydrogeologickými, geologickými a geotermálními podmínkami. Teoreticky odhadovaný potenciál energie hornin o vysokých teplotách (nad 130 °C) využitelný pro výrobu elektrické energie je 2 385 900 MW. Tato kapacita ovšem nemůže být nikdy zcela využita. Podle zahraničních zkušeností je technicky dostupný potenciál možné odhadovat na 2 %, tedy zhruba 50 000 MW. (Myslil *et al.*, 2007)

Využití energie Země má v současnosti oproti jiným zdrojům energie vyšší investiční náklady. V tuzemsku se využívají převážně nízkoteplotní zdroje energie, tedy energie mělkých podzemních vod a energie hornin v povrchových vrstvách. V každém případě je nutné posuzovat potenciál zemského tepla v každé oblasti zvlášť, protože

rozložení zdrojů v hloubkách jednoho až dvou kilometrů je velice nepravidelné. (Dřímál, 2016)

Geotermální energie je v České republice využívána v lázeňství, přičemž lokality s hydrotermálními zdroji jsou pouze na několika místech, nejteplejší pramen se nachází v Karlových Varech a jeho teplota je zhruba 72°C. Kromě toho se u nás využívá geotermální voda k vytápění objektů a jako teplá užitková voda. V České republice nelze počítat s využitím horké vody nebo páry pod povrchem Země pro výstavbu elektráren, protože v tuzemsku není místo, kde by se nalézal zdroj vody horké tak, aby byla vhodná pro výrobu elektřiny. (Škorpík, 2014).

V Ústí nad Labem je geotermální energie od roku 2006 využívána k vytápění všech objektů zoologické zahrady. Vrt pro čerpání geotermální vody se nachází v hloubce 515 m a teplota vody je 32°C. (Špičková, Štuncová, Šudřichová, 2010)

Geotermální energií vytápí Děčín téměř polovinu celého města. V Děčíně byl realizován doposud největší projekt využití hydrotermální energie na území České republiky - teplárna, jejíž vrt dosahuje hloubky 550 m. Celá stavba včetně přípravných prací, vrtu, stavby zdroje, rozvodného systému a přivaděče pitné vody do vodojemu stála přes 550 miliónů Kč. Geotermální energie v Děčíně se nachází v rozsáhlém podzemním jezeře, ze kterého přirozeným přetlakem vytéká na povrch voda o teplotě 30°C. Tato voda je buď vychlazena na 10°C, jednoduše upravena a jako pitná voda dodávána do městského vodojemu, nebo zahřívána na 90°C a využívána k vytápění domácností. K přečerpávání vody a dalšímu zahřívání je využíváno kotlů na zemní plyn, a tak tento systém nepracuje jen na čistě obnovitelných zdrojích. Díky hydrotermální energii se nicméně ročně ušetří 10 000 tun CO₂ a třetina zemního plynu, o zlepšení ovzduší nemluvě. (Dřímál, 2016)

Plány na výstavbu geotermálních elektráren na území České republiky existují pro Děčín na Frýdlantsku, Litoměřice a Liberec. V Liberci byly realizovány vrty za 250 miliónů Kč, ale hlavní investor skupina ČEZ roku 2011 od projektu odstoupil z důvodu malé výnosnosti. V Děčíně bylo kvůli potížím s financováním od zkušebních vrtů rovněž ustoupeno. (Dřímál, 2016)

Město Litoměřice se zabývá využitím geotermální energie od roku 2000. Průzkumný vrt do hloubky 2,1 km v roce 2007 ověřil, že v místním podloží jsou k využití tepelné energie Země příhodné podmínky. V Litoměřicích se kříží dva tektonické zlomy, a z tohoto důvodu je plánováno rovněž využití tzv. sálavého tepla

z hlubších, magmatických vrstev. Do jednoho kilometru pod povrchem navíc dosahují tzv. permokarbonské sedimenty fungující jako „přikrývka“, která izoluje žulové podloží a teplo tedy tolik neuniká k zemskému povrchu. Další výhodou města je řeka Labe, která je dostatečným zdrojem vody, jež bude ohřívána v podzemním výměníku. (Dřímál, 2016)

Předpokládá se, že teplota horniny v hloubce 5 km bude dosahovat 180°C. O tuto horninu se bude systémem HDR ohřívat voda vháněná dolů injekčním vrtem, a dvěma produkčními vrty se bude ohřátá voda, respektive pára, vracet zpět na povrch do výměníkové stanice, kde bude využita k výrobě tepla a případně elektrické energie (Dřímál, 2016)

Součástí projektu je rovněž vytvoření vědecko-výzkumného centra, na němž se budou podílet čeští i zahraniční odborníci, univerzitní pracoviště a vědci z Akademie věd. (Křivohlavý, 2017)

Obecně se v podmínkách naší republiky počítá s investicí 1,4 miliardy Kč s návratností 25 až 30 let. Elektrárna by měla dodávat cca 50 MW energie tepelné a 5 MW energie elektrické. (Dřímál, 2016)

2. Hloubení hlubokých geotermálních vrtů – technika a technologie

Projektování geotermálních vrtů se zakládá na zpracování optimálních podmínek pro vyhloubení projektovaného vrtu na základě geologických a ostatních požadavků.

Technicky dokonalý projekt je základem pro úspěšné provádění a dokončení vrtných prací. Projekt vrtu může rozhodujícím způsobem ovlivnit dobu vrtání, náklady na vrt s tím spojené a ostatní technicko - ekonomické ukazatele. (Zeman et al., 2014)

2.1. Základní části projektu hlubinného geotermálního vrtu

Projekt hlubinného vrtu tvoří v podstatě tři hlavní části:

- geologická
- technická
- rozpočtová

2.1.1. Část geologická obsahuje zpravidla tyto základní údaje

- účel a cíl vrtu
- požadavek projektované hloubky vrtu
- stratigrafický a litologický profil vrtu
- úklon souvrství a důležitých vrstev
- hydro a petrostatická charakteristika důležitých horizontů a známých tedy ověřených respektive předpokládaných
- horizonty plyno a vodonosné
- horizonty mající sklony k závalům
- horizonty (intervaly) s nebezpečím ztráty výplachu
- požadavky na odběr jader
- požadavky na elektrokarotažní práce
- požadavky na izolaci vrstev, tedy hloubkové intervaly na pažení a cementace
- intervaly pozitivních nebo nadějných obzorů

2.1.2. Část technická obsahuje minimálně tyto základní údaje

- typ vrtné soupravy, základní a doplňkové příslušenství
- konstrukce vrtu s dimenzovanými hodnotami a koeficienty bezpečnosti pro jednotlivé pažnicové kolony
- sestava ústí vrtu a příslušenství pro jednotlivé pažnicové kolony, včetně způsobů zkoušek hermetičnosti pažnicových kolon a ústí vrtu
- sestavy a dimenzování vrtného nářadí
- režim vrtání, programy dlát a hydrauliky vrtu
- typy výplachů, metod úprav a očišťování výplachu
- přípravy a způsob pažení vrtu
- podmínky a opatření předcházení tlakových projevů a dalších možných havárií
- problematika a bezpečnost práce, protipožární ochrany a důležitých operací v průběhu hloubení vrtu

2.1.3. Rozpočtová část obsahuje kalkulace následujících kapitol:

- přípravné práce
- montáž a demontáž vrtné soupravy
- samotné hloubení vrtu
- pažení a cementace vrtu
- osvojení vrtu, čerpací pokusy
- likvidační práce
- ostatní a nepředvídané práce

Při projektování geotermálních vrtů musíme počítat s řadou odlišností oproti vrtům na ropu a zemní plyn. Je třeba počítat s tím, že zájmová oblast, do které se chceme dovézt, se převážně nachází v hloubkách nad 4000 m. Díky tomu musíme už na začátku zvolit vhodný typ soupravy, který je schopen do takových to hloubek dovézt a to při vhodné kombinaci nářadí. Ale co je také důležité a nesmí být opomíjeno je skutečnost, aby souprava měla dostatečnou nosnost na háku hlavně při pažení těchto vrtů. A to zejména z důvodu, že na pažení jsou využívány pažnice s větším průměrem, mohutnější stěnou pažnice a větší odolností proti teplotě a tlaku.

2.2. Modelové vystrojení geotermálního vrtu

Každá konstrukce vrtu je složena z jednotlivých pažnicových kolon. Jednotlivé pažnicové kolony jsou navrhovány na základě znalosti geologie oblasti, kde je vrt konstruován, nebo také dle informací získané geofyzikálními měření. Umístění jednotlivých kolon se také odvíjí od případného narušení terénu tektonickou či vulkanickou činností, projevující se možností nebezpečných závalů či ztrát výplachu možností přítoku media do vrtu a také hloubkou, kde se vyskytuje zájmový horizont. A dále vyhovujícím průměrem pažnic a tím jeho objemové kapacitě v konečné hloubce vrtu a dalších aspektů, jež ovlivňují umístění jednotlivých pažnicových kolon.

2.2.1. Řídící kolona

První a hlavní odlišností geotermálního vrtu je průměr, kterým se vrt začíná hloubit. U zvláště hlubokých vrtů jsou zpravidla použity dvě řídící kolony. Používají se dláta takových průměrů, aby bylo možno vrt zapažit pažnicemi o průměru: 760-920mm (30 až 36“). Je nesmírně důležité, aby řídící kolona byla dokonale svislá. Proto se od počátku vrtné nářadí centruje v šachtě - „sklepu“. Úkol první řídící kolony je izolovat další kolonu od podzemní vody a zabránit tak možnosti závalů hlubších intervalů.(Zeman et al., 2014).

Za první řídící kolonou, která většinou sahá do houby okolo 100 m, následuje taktéž velkopřůměrová druhá řídící kolona, která má počvu většinou v intervalech 300 m – 600 m a to v závislosti na hloubce další již „úvodní kolony“, kdy přebírá její funkci a je na ni namontováno ústí vrtu (Obrázek 5).



Obrázek 5: Výměna tyčových čelistí 5 ½ “ za pažnicové 9 5/8 “ před pažením technické kolony (foto vlastní zdroje, 2018)

Vrtání velkými průměry je jednak z důvodů možnosti vhodné konfigurace vrtného nářadí pro dosažení cílené hloubky, ale také z důvodu, aby měl vrt v konečné hloubce dostatečný průměr, který je třeba z důvodů kapacity kapaliny obsažené ve vrtu. Takže oproti vrtům na uhlovodíky (ropa a zemní plyn), kdy nám stačí malý průměr v daném intervalu, z kterého nerosty těžíme, u geotermálních vrtů je třeba dostatečný průměr, aby samotný vrt měl dostatečnou kapacitu a vydatnost.

Pro příklad nejčastěji používané dláto pro odvrtání těžební kolony pro ropnou sondu na jižní Moravě o průměru 120,65 mm ($4^{3/4}$ “) v hloubce cca 2000 m. U geotermálního vrtu je to pro příklad z osobních zkušeností na lokalitě Vendenheim v regionu Alsace, na vrtu VDH – GT -1 v konečné hloubce 5450 m průměr 218,875 mm ($8^{5/8}$ “).

2.2.2. Úvodní kolona

Má také ještě za úkol zabezpečovat u povrchu blíže ležící volné a porušené vrstvy a i případné vrstvy vodou nasycené, přičemž stejně důležitou funkci plní tato kolona z hlediska pevnostního, a to přebíráním částečné tíhy dalších kolon a ústí vrtu. Úvodní kolona musí být proto dimenzována na vnitřní přetlak. Cementace této kolony se provádí až po povrch, čímž se silně podpoří únosnost a zakotvení vlastní kolony. Tato těsná izolace slouží i k tomu, že při případném nástupu plynu neprojde volnými vrstvami za pažnicemi, respektive nepronikne až na povrch, ale také při uzavření ústí vrtu není tlakem nastupujícího média vytlačena z vrtu. (Strniště, Šmolík, 1992)

2.2.3. Technické kolony

Potřeba použití technických kolon je dána hlavně hloubkou vrtu a charakterem geologického profilu vrtu, k jehož zapažení dochází také z důvodu technicko - bezpečnostního pro úspěšné hloubení posledního intervalu vrtu.

Tyto okolnosti jsou závislé na hloubce úvodní kolony, časovém faktoru vrtání. Vážnou úlohou technické kolony je také překrytí zón, které by mohli v průběhu dalšího hloubení způsobovat komplikace, tj. přítomnost různorodých vrstev a horizontů vysoko nebo nízkotlakých, ztrátových nebo závalových apod. Z těchto a dalších již uvedených důvodů jsou délky těchto kolon značně rozdílné, při čemž již velkou roli má vzrůstající úroveň výplachové a vrtné technologie. U velmi hlubokých vrtů jsou délky technických kolon mezi 2000 m až 5000 m respektive závěsné linery. (Zeman et al., 2014)

2.3. Kolona vrtného nářadí

V době, kdy vrty o hloubkách 5000 m až 7000 m jsou už standartní záležitostí a víme, že tyto hloubky jsou dosažitelné díky moderním technologiím výplachů, jež nám zajišťují kvalitní průběh prací na vrtu a celkové technické úrovni rotačního vrtání, přísluší také velká důležitost sestavení kvalitní vrtné kolony.

Kolona vrtného nářadí, při dnešních požadavcích hloubení hlubokých vrtů, je část, která je extrémně namáhána. Takovou to kolonu si také můžeme představit jako celek sestavený z jednotlivých vysokotlakých elementů, který je jednak namáhán vnitřním tlakem, jež vzniká začerpáváním media (výplachu) do vrtu, díky kterému probíhá velká řada procesů nezbytně nutných ke kvalitnímu průběhu rotačnímu vrtání, ale také je to celek, jež je mimořádně namáhán na zkrut, tah, tlak a ohyb. (Schniderwind, 1986)

O takovéto sestavě vrtného soutyčí včetně dláta, ponorných motorů, zátežek, centrátorů, nůžek, akcelérátoru a dalších komponentů moderní vrtné kolony, můžeme tvrdit, že pokud jsou správně dimenzovány, je možné s touto vrtnou kolonou dosáhnout i extrémních hloubek 10000 m až 15000 m. (Zeman et al., 2014)

Vrtné nářadí u moderních vrtných souprav slouží tedy nejen k vlastnímu hloubení, ale současně také jako prostředek k dosažení vyšší rychlosti vrtání a to zejména:

- přenášením většího kroutícího momentu při vrtání s ponornými motory, k dodání větší hydraulické energie, k dosažení většího kroutícího momentu samotného ponorného motoru
- menšími hydraulickými ztrátami (větší a hladkostěné průřezy moderních tyčí) dodávají výplachovou kapalin o větším množství na počvu vrtu

Vrtné tyče jsou vyráběny jako vysoko kvalitní ocelové bezešvé válcové trubky z různých materiálů, stupeň jejich kvality je identifikován podle minimální meze kluzu δ_{Kt} a minimální meze pevnosti σ_{pt} . (Schneiderwind, 1985) Základní parametry vrtných dle normy API jsou uvedeny na Obrázku 6.

Jakostní stupeň	Minimální mez [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]		Prodloužení na 50,8 mm [%]	Podle standardu
	kluzu, δ_{Kt}	pevnosti, δ_{Pt}		
D-55	380	655	18	5A
E-75	515	690	17	5A
X-95	655	720	16,5	5AX
G-105	725	790	15	5AX
S-135	930	1000	12,5	5AX

Oceli na vrtné tyče — podle normy GOST

Jakostní stupeň	Minimální mez [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]		Prodloužení na 50,8 mm [%]	Podle normy
	kluzu, δ_{Kt}	pevnosti, δ_{Pt}		
D	380	650	16	GOST 631-75
K	500	700	12	
E	550	750	12	
L	650	800	12	
M	750	900	12	
R	900	1000	12	
T	1000	1000	12	

10 $\text{N}/\text{mm}^2 = 1 \text{ kp}/\text{mm}^2$

Obrázek 6: Základní parametry ocelových tyčí dle normy API (Schneiderwind, 1985)

3. Analýza možných havárií při hloubení hlubokých geotermálních vrtů

Při hloubení geotermálních vrtů, jež mají své zájmové oblasti ve 4000 m a více, se dostáváme do situací, kdy může docházet k různým druhům havárií na vrtu. A to především z důvodu, že čím déle a hlouběji vrtáme, tím je větší potenciální prostor na vznik havárie ať už z technického důvodu nebo z důvodu geologického, který nebyl předpokládán.

3.1. Poruchy ve vrtném průmyslu

Poruchy ve vrtném průmyslu jsou zásadně dvojího druhu:

- poruchy na povrchovém zařízení (tj. na vrtné soupravě)
- poruchy na vrtových zařízeních (tj. na vrtné a pažnicové koloně, na cementaci apod.)

Svojí podstatou jsou obě skupiny poruch zcela odlišné, avšak vzájemně se velkou mírou ovlivňují, někdy jsou dokonce v příčinné závislosti. Např. porucha na čerpadle může být příčinou příchvatu vrtné kolony a pokus o její násilné uvolnění, kdy nemáme možnost cirkulace, může být příčinou poruchy na těžním zařízení vrtné soupravy. (Zeman et al., 2014)

První skupina poruch patří do kategorie mechanických poruch a její opravy jsou problematikou opravy nebo výměny poškozeného čerpadla. Tato skupina poruch patří do kompetence hlavního mechanika a z hlediska vrtného technika je jejich odstranění spíše organizační otázkou než technickou. (Zeman et al., 2014)

Naopak poruchy ve vrtu jsou záležitostí vrtně-technickou a jejich odstraňování je úkolem vrtného technika ve spolupráci s geologem. Tyto poruchy lze zařadit do tří skupin:

1. Poruchy vrtné kolony
 - rozpojení vrtné kolony (zlomení, rozšroubování apod.)
 - uvážnutí vrtné kolony (příchvat, zaklínění apod.)
2. Poruchy pažnicové kolony
 - rozpojení pažnicové kolony
 - deformace a poškození pažnicové kolony
 - uvážnutí pažnicové kolony
3. Cizí těleso ve vrtu

Nejdůležitějším předpokladem pro úspěšnou likvidaci poruchy ve vrtu je její okamžité zjištění. Tento požadavek jež se může zdát samozřejmí, však ve vrtné technice není tak snadno splnitelný jako v jiných oborech. A to z důvodu, že vrtná osádka vedena vrtmistrem, nemůže svůj nástroj, s nímž vykonává hloubící činnost sledovat přímo, nýbrž je odkázána na nepřímé informace, jež doprovázejí hlubinné vrtání. (Zeman et al., 2014)

Tyto informace jsou především z měřících přístrojů jako tunometr (tíhoměr) a další jako např. (otáčkoměr, tlakoměr, průtokoměr atd.), nadále z optických a zvukových projevů pracující vrtné kolony, rotační hlavy (washpipe), rotačního stolu, již zmiňovaných zvukových projevů, (zavíjení) systému Top Drive (posuvné rotační zařízení), motorů výplachových čerpadel či znatelné změně množství výplachu proudícího na vibrační síta při proplachu vrtu.

Pozdní zjištění poruchy či havárie ve vrtu má dvě hlavní kritéria a to z hlediska technického a ekonomického.

První z nich má na zřeteli, možnost odstranění poruchy a pokračování ve standartních pracích při hloubení vrtu. Druhé z kritérií jsou pak vzniklé finanční ztráty, pokračováním v práci po vzniku havárie. Toto kritérium vystupuje do popředí tam, kde zjištění poruchy není tak snadné a nepodaří se jej ihned odhalit, a za těchto podmínek lze určitou dobu pokračovat ve vrtných pracích, kdy může dojít k vážnému ohrožení nápravných prací. (Schniderwind, 1985)

Pro úspěch nápravných prací má rozhodující význam vedle včasného zjištění poruchy také stanovení správné „diagnózy“, což například při rozlomení vrtné kolony je poměrně snadné, jelikož máme k dispozici chytací zařízení, ať už se jedná o tzv. „trn“, „zvon“ či další účinné nástroje pro řešení havárií tohoto typu ve vrtu.

V případě uvážnutí vrtné kolony, situace už není tak jasná, protože ji musíme posuzovat na základě pouze druhotných informací. Stanovení diagnózy by se mělo provádět velmi pečlivě na základě znalostí všech okolností a celého průběhu práce před zjištěním poruchy i po něm. (Zeman et al., 2014)

Byť tato úvaha se může zdát z počátku jako ne úplně relevantní, závažným aspektem pro provedení kvalitní nápravné práce ve vrtu po vzniku havárie je použití kvalitního a spolehlivého „Fishing Tools“ (chytacího náradí). Standardní chytací náradí má být stálou součástí výbavy vrtné soupravy.

Úspěch nápravných prací ve vrtu je do značné míry podmíněn i znalostí rozměrů všech zařízení, která do vrtu zapouštíme. Tento požadavek je již standardním postupem při zapuštění jak vrtné kolony, tak kolony pažnic jelikož vrtmistr je povinen zapisovat délky, vnějších i vnitřních průměrů korunek, jádrovnic, spojníků, přechodů, zátěží, centrátorů a dalšího zařízení, které do vrtu zapouštíme. (Zeman et al., 2014)

Dochází také k haváriím sekundárního zařízení, které je taktéž využíváno ve vrtařském průmyslu. Jedná se především o zařízení, které je používáno k měření sond a dále se jedná o zařízení, jako jsou např.: karotážní sondy, jejich zátěže, inklinometr a podobně (Obrázek 7).



Obrázek 7: Uváznutí karotážní sondy v zátěži při měření (foto vlastní zdroje, 2018)

Ve vrtném průmyslu platí snad více jak v kterémkoliv jiném odvětví požadavek prevence, k čemuž slouží například nedestruktivní defektoskopie trubního materiálu (vrtných trubek a pažnic), používání kvalitních výplachů apod. (Zeman et al., 2014)

Samotnou havárii můžeme definovat takto:

Jako havárii můžeme rozumět takový neobvyklý stav vrtu, kdy došlo k mimořádné události z přímých nebo nepřímých příčin, a to geologických, technicko - technologických a to i organizačních, které narušují pravidelný a plynulý cyklus prací

ve vrtu a na jejich odstranění je nutné použít speciální pracovní postupy a nástroje. (Schneiderwind 1986)

V naftařském průmyslu se dlouho spekulovalo o tom, co je považováno za „havárii“ a co za „komplikaci“.

Za **havárie** byly považovány např.: destrukce dláta at' už celková nebo jen odlomení válečku dláta, utržení vrtného nářadí at' už zátěží či nějakého elementu z vrtného soutyčí. Také jako havárie byla považována situace, kdy pochybil nějaký člen osádky a zapříčinil pád cizího tělesa do vrtu např.: klíč či kladivo. Jeden hlavní problém při hloubení vrtů představoval tzv. tlakový projev - vnik média (ropa, zemní plyn) do vrtu. Tato situace ovšem není tak obvyklá při hloubení geotermálních vrtů.

Jako **komplikaci** při hloubení vrtu se považovalo například sevření nářadí provrtaných obzorů v důsledku jejich plasticity (solné obzory), uvíznutí nářadí díky působení diferenčního tlaku, ztráty výplachu at' už částečné nebo totální a také zavalování nářadí díky nesoudržnosti a vysypávání se stěn vrtu v důsledku špatně zvoleného výplachového media.

3.2. Nejčastější havárie vrtného nářadí

Za nejčastější havárie vrtného nářadí můžeme uvažovat:

- havárie dláta
- havárie vrtného nářadí (tyčí a zátěží)

3.2.1. Havárie dláta

Pod pojmem havárie dláta si představíme stav, kdy při procesu vrtných prací dojde k poškození dláta a to z takového hlediska, že již není možné postupovat ve vrtných operacích. Nejčastěji dochází k rozlomení nebo odlomení válečku, nebo ramene celého dláta.

K této situaci dochází nejčastěji při použití nevhodného dláta do daného typu hornin, po překročení meze únosnosti možného přítlaku na dané dláto, jež uvádí výrobce, po překročení časového rozmezí práce, na něž je dláto přizpůsobeno, a v neposlední řadě také přítomnost cizích předmětů ve vrtu. Dalším faktorem poškození dláta je velká abrazivnost hornin, kdy nedochází k úplné destrukci dláta, ale k jeho systematickému obrušování a to zejména na průměru a vrtná kolona je hloubena již ve zúženém profilu a nejedná se tak o kvalitní dílo. Také samotnou destrukci dláta může

způsobit samotný pád cizího tělesa do vrtu, nebo vypadané roubíky z předchozího dláta, jež bylo zapuštěno ve vrtu (Obrázek 8).



Obrázek 8: Deformované PDC dláto nejspíše vypadanými roubíky předchozího vrtného dláta (vlastní zdroje, 2017)

3.2.2. Rozpojení vrtné kolony

Rozpojení vrtné kolony je dalším z nejčastějších případů poruch ve vrtu. Proti tomuto typu havárií bylo v posledních letech podniknuto velké množství opatření. To se týče nejen zkvalitnění materiálů vrtného nářadí, nových procedur při dotahování nových spojů vrtné tyče, i například obvaření spojníku tvrdokovy. Evidence oprav a hodin, jež vrtné tyče konaly činnost ve vrtu, tak jako využití nedestruktivní defektoskopie.

Hlavní příčinou havárií způsobených lomem zátěží, jsou podmínky ve vrtech. A to z důvodů vrtání např. geotermálních vrtů ve velmi tvrdých granitoidních horninách a také rostoucí hloubky vrtu jež zvětšují délku zátěží a tím intenzivní zdroj vibrací, které se nepříznivě projevují na hlavní části kolony namáhané na vzpěr, tj. v zátěžkách.

Příčiny havárií vrtného nářadí můžeme rozdělit do těchto skupin:

1. rozpojení vrtné kolony
2. lom v těle vrtné tyče, lom v sestavě zátěží
3. lom v části spojovací (závit)

K rozpojení vrtné kolony dochází především při rozšroubování nebo ujetí celé kolony z klínů. Tento typ havárie je typickým projevem nedbalosti vrtné osádky. Vznikne nedbalým dotahováním závitových spojů či usazováním do vhozných klínů, není tak častým jevem jako případ, kdy dojde k překroucení nářadí, jeho následného zastavení v rotační činnosti (obvykle po směru hodinových ručiček tedy v pravo).

Následuje nedostatečně kvalitní řešení tohoto problému, kdy při odpuštění zkrutu dojde k rychlému „zpětnému chodu“ (točení doleva), a rozpojení v některých ze závitových spojů vrtné kolony, jež nebyl dostatečně dotažen.

Utržení a ukroucení vrtného nářadí je již dnes zřídkačným jevem a to zejména z důvodu, že jak použitý materiál na výrobu vrtného nářadí, tak výpočet a kontrolní metody dávají záruku poměrně bezpečného provozu. Avšak i v dnešní době k této situaci dochází a to hlavně za situace, kdy dojde k uvíznutí nářadí a tento problém je násilně zmáhán a nejsou dodrženy standarty, jež jsou v naftařském průmyslu běžně zaužívány a to např. aktivace bezpečnostních nůžek a jejich následná činnost v momentu, kdy je na vrtnou kolonu vyvíjen její maximálně povolený zkrut a tah.

Jako příklad vezmeme situace, kdy je zkrut vrtné kolony nejslabšího spoje 34 kNm a povolený tah na vrtné nářadí 345 tun. Došlo k zastavení rotace vpravo. Tato situace byla řešena nejprve uvolněním nářadím při tahu na její maximální tah 345 tun, neúspěšně a následně aktivaci havarijních nůžek a jejich činnosti. Při otřesu, jež zapříčiní havarijní nůžky, dojde k překroucení závitu a jeho následnému vytržení z protějščího kusu závitového spoje, kdy je nářadí v daný moment namáháno na zkrut a tah (Obrázek 9).

Oproti tomu zlomení vrtné trubky je jevem dosti častým a má svou příčinu v únavě materiálu, vyplývající často z opakujících se ohybů vrtné trubky, např. v ohybu vrtu nebo kaverně. V prvním případě je trubka napínána určitým tahem a přitom přehnuta přes ohyb ve stěně vrtu. Otáčením se trubka opotřebovává po celém obvodu a je namáhána ohybovým napětím ve všech radiálních směrech v rozmezí od minus maxima do plus maxima. V dalším případě představuje trubka stlačovaná určitým osovým tlakem, vybočující jednou vlnou do kaverny. Třením o stěnu vrtu se trubka opotřebovává jen v jednom místě svého obvodu a to tam, kde se dotýká stěny kaverny. Přitom je namáhána určitou ohybovou silou. Toto namáhání však svůj směr nemění a kolísá od plus minima do plus maxima.



Obrázek 9: Ukroucení vrtné tyče při havarijních pracích v důsledku namáhání na zkrut i tah současně
(vlastní zdroje, 2018)

3.2.3. *Uváznutí vrtného nářadí*

Do této skupiny havárií patří případy, kdy není možné vrtné nářadí z jakéhokoliv možného důvodu vytáhnout z vrtu. Tento typ havárie má nejčastěji tyto příčiny a to:

- „zapíchnutí“ nářadí
- zatáhnutí nářadí ve žlabu
- diferenční příchvat
- zával

Stav uvízlého nářadí, které označujeme jako „**zapíchnutí**“ nářadí při jeho zapouštění je stav, kdy je nové dláto zaklíněno ve vrtu. A to z důvodu, kdy průměr vrtu je menší, než průměr nově zapouštěného dláta (např. spodní část vrtu již byla navrtána díky opotřebení dláta, dlátem užšího průměr než jeho průměr jmenovitý). Tato situace vzniká především z důvodu technologické lhostejnosti nebo opomenutí této informace. Každé dláto, jež je vytáhnuto z vrtu, se musí dokonale zkontrolovat a zaměřit jeho průměr a podle toho postupovat při zapouštění nového dláta.

V tvrdých horninách stačí velmi krátký interval „zapíchnutí“, aby šlo dláto velmi těžce uvolnit. Nejúčinnějším nástrojem na likvidaci takovéto havárie jsou havarijní nůžky. (K. Strniště, 1992)

Dalším poměrně častým případem uvíznutí nářadí je **zatáhnutí ve žlabu**. Pod pojmem žlab rozumíme deformaci vrtu, ke které obvykle dochází v intervalech, kde probíhá směřování vrtu (tzv. křivý interval).

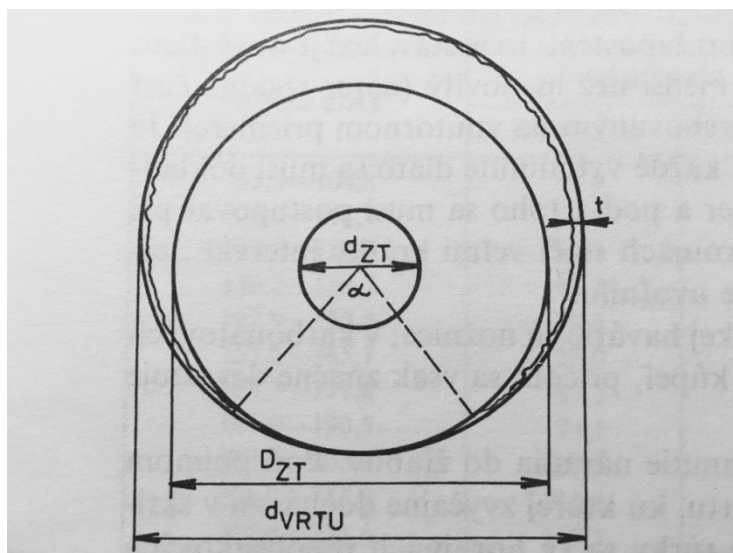
Stává se tak že vrtne tyče se (v horninách propláستkových s proměnlivou tvrdostí) zařezávají v místě kde se vrt ohýbá do stěny, takže profil dostane tvar klíčové dírky (odtud taky anglické označení „keyseating“). (K. Strniště, 1992)

V takovém to úseku vrtu může dojít k uvíznutí zátěží, z důvodu jejich velkého průměru, který je větší než průměr vrtných tyčí a jejich spojníků. Vhodným opatřením proti vzniku žlabu je přibírání kritických intervalů vrtu.

Velmi nepříjemným uvíznutím nářadí je moment, kdy dojde k uvíznutí z důvodu tzv. **diferenciálního příchvatu**. Takováto situace nastane ve vrtu, ve kterém je provrtaný delší úsek pórovitých hornin. V moment kdy výplachová kůra, která vzniká na stěně vrtu, není dostatečně silná ani stabilní a vrtne nářadí (zátěžky) naruší tuto výplachovou kůru a odhalí horninu nastane situace, kdy působením tlaku kapaliny (výplachu) ve vrtu začne medium vnikat do pórovité horniny a zátěžky přilnou ke stěně vrtu, kde je výplachová kůra porušena. Hodnota velikost tlaku, kterým vniká do pórovité horniny může být tak veliká, že ji není možné překonat silou jež můžeme vyvinout tahem háku soupravy.

Na obr. 9 je znázorněna jednoduchá situace kdy dochází ke kontaktu zátěží se stěnou vrtu, na které je malá vrstva výplachové kůry. Když je tu $d_{vrtu} = 216 \text{ mm}$, $D_{TZ} = 168 \text{ mm}$ a $t = 3 \text{ mm}$, může být i větší jak 60° . Když vezmeme pro příklad případ kdy: obzor má hydrostatický tlak, vrtá se výplachem o hustotě $1200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, potom je tlakový spád $\Delta_p = 200 \text{ kPa}$. Je-li interval pórovitých hornin L napr. 100 m dlouhý, potom při odhadovaném koeficient tření $\mu = 0,5$ (ocel o horninu) dostaneme sílu F , což je překvapivě velká přidaná síla k váze nářadí, který kladkostroj soupravy nemusí zvládnout. (K. Strniště, 1992)

$$F = \frac{\pi D t \alpha}{360} L \Delta p \mu = \frac{3,14 \cdot 0,168 \cdot 50}{360} 100 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 733 \text{ kN}$$



Obrázek 10: Náčrtek kontaktu zátěžky se stěnou vrtu pokrytou výplachovou kůrou (K. Strniště, 1992)

(legenda k obr. 10: d_{ZT} - průměr zátěžky, d_{TZ} - vnitřní průměr zátěžky, d_{VRTU} - průměr vrtu, t - síla výplachové kůry)

Ve všech případech uchycení nářadí je velmi důležitá znalost stavu vrtu: výskyt kaveren, vývoj křivosti vrtu, charakter hornin jež jsme provrtali a také konfigurace nářadí ve vrtu: podle toho můžeme usuzovat o jaký druh uvíznutí nářadí se jedná a díky tomu zvolit vhodný postup pro likvidaci havárie. (K. Strniště, 1992)

Pokud je možná cirkulace a rotace s nářadím, je velká naděje že se nám nářadí podaří uvolnit.

Pokud však není možné s nářadím pohybovat a taky zde není možnost cirkulace. Je lepší rozpojit nářadí ve vrt a přistoupit k dalším opatřením, jako prodlužovat pokusi o uvolnění nářadí napínáním a povolováním, případně kroucením respektive kombinací napínání a kroucení. (K. Strniště, 1992)

4. Vybrané havárie – příčiny, následky, možná řešení

Díky moderním technologiím rotačního vrtání, směřování vrtů pomocí kvalitních systémů např. MWD, výplachům na různých bázích a zvyšující se kvality vrtného nářadí, dochází k haváriím ve vrtném průmyslu v důsledku použití nekvalitních materiálů zřídka více než před lety.

Ovšem v době, kdy rozhodujícím faktorem a to nejen v tomto průmyslu, jsou finance dochází ke komplikacím, které jsou spojeny s nesprávnými rozhodnutími a špatně zvolenými technologickými postupy, unáhlenými a nesprávnými rozhodnutími při řešení drobných komplikací a nedodržování zažitých zásad a pravidel v tomto oboru a to ve snaze o ušetření času a s tím spojených nákladů na realizaci daného vrtu či projektu.

Pro příklad si uveďme některé z havárií na vrtu: VDH – GT - 1, v regionu Alsace, ve Francii. Většina havárií na tomto projektu byla následkem nesprávných rozhodnutí a také ne zcela vhodně zvolených postupů u některých operací, jež měli znatelně zkrátit dobu, za kterou měla být daná činnost vykonána a tím jak již bylo uvedeno ušetřit část nákladů.

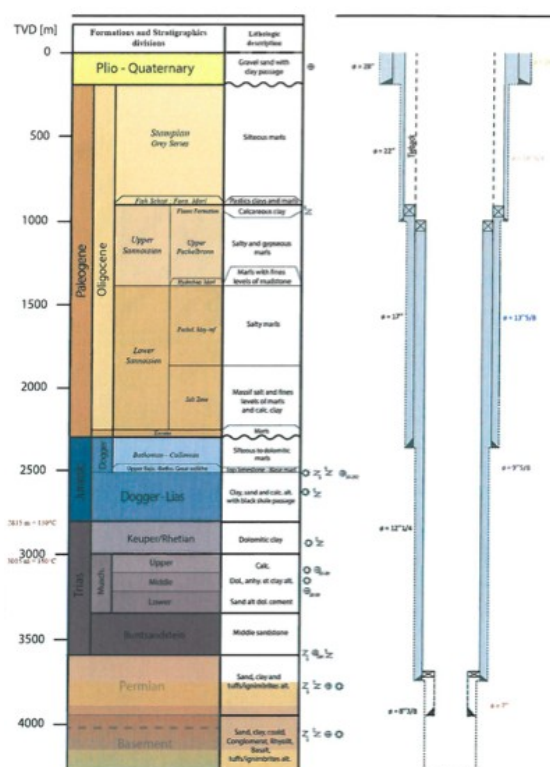
Vědecká skupina Géonédergies na počátku roku 2016 začala s geofyzikálními měřeními ve dvou oblastech a to Riomu a Eckbolsheim v Alsace ve Francii. Tato skupina se zaměřila na získání informací o možnosti využití vysokopotenciální geotermální energie jež je součástí jednotného projektu který se nazývá Reflet.

Informace které získali na základě provedených geofyzikálních měření prokázali že v těchto lokalitách se vyskytuje geotermální energie. Je zde výskyt kapalin o teplotě 150°C, které proudí rychlostí až 350 km/h, díky nimž by mohli být využity jako zdroj pro elektrárny nebo jako médium do tepláren.(www.brgm.eu)

Geotermální projekt v Alsace, který je plánován s 2 vrtů a to jedním produkčním vrtem a druhým injektážním, kdy budou oba vrtů vyhotoveny a přes deformovanou zónu budou společně komunikovat. Toto místo deformace se nachází na východním zlomu v horní části sedimentárních hornin (Basement) v hloubce (3800 m až 4300 m) od města Vendenheim. (viz. Obr. 11). Pro první z vrtů bude tato narušená zóna využita jako injektážní a druhý vrt bude sloužit pro získávání tepelného zdroje (kapaliny o teplotě cca 150°C). I díky tomu že ústí vrtů na povrchu budou od sebe vzdáleny pouze 7 metrů, tak v porušené zóně budou počvy obou vrtů od sebe vzdáleny bezmála 700m.



Obrázek 11: Fotografie věže Benteck 450 na lokalitě VDH – GT - 1
(foto vlastní zdroje, 2017)



Obrázek 12: Geologické schéma a plánované umístění pažnicových kolon na projektu VDH – GT- 1
(vlastní zdroje, 2017)

4.1. Havárie dláta – zapíchnutí dláta

Jednou z havárií, která se stala na geotermálním projektu VDH – GT – 1 v Alsace byla havárie, kterou nazýváme jako **zapíchnutí dláta do** zúžené části vrtu. Hlavním důvodem vzniku havárie tohoto typu je především pochybení vrtaře. Dále: osob jemu nadřízených kteří vrtaři udělují instrukce pro správný postup zapouštění nové vrtné sestavy nářadí.

Havárie vznikla tímto způsobem: Po rozhodnutí vrtného inženýra, kdy se postup při vrtání zpomalil zhruba na polovinu tzn. z 5 m/h (rychlost odvrtu horniny činí 5 metrů za hodinu) na 2 m/h, došlo k vytažení původní vrtné klony. Práce spojené s tažením nářadí činili, komplikace a to především v intervalu 4435 m až 4395 m, kdy overpull byl bezmála 180 tun a docházelo k tahu nářadí včetně Top Drive o váze 345 tun.

Konečná hloubka v níž bylo rozhodnuto o vytažení činila 4449 m. Další komplikace při tažení nářadí nepřicházeli a nářadí bylo bez dalších problému vytaženo. Na spojnicích vrtných tyčí byli viditelné známky opotřebení a to i na sestavě centrátorů, které byly způsobené abrazivní horninou. (obrázky 13,14)



Obrázek 13: Opotřebení spojnic tyčí způsobeno nejspíše abrazivní horninou (vlastní zdroje, 2018)



Obrázek 14: Opotřebení spojníků tyčí způsobeno nejspíše abrazivní horninou a následné poškození závitu způsobené kroučícím momentem. (vlastní zdroje, 2018)

Toto podezření se potvrdilo po orientačním zaměření „žeber“ centrátoru. Po vytažení dláta na stůl a jeho následného zaměření bylo znatelné, že dláto je užší nejen na průměru, ale také kolečka osazené roubíky byli znatelně zdevastovány abrazivním materiálem, který obsahoval interval jež se jim vrtná osádka provrtávala.

Dané dláto bylo užší na svém jmenovitém průměru téměř o jeden palec (25,4 mm). Což poukazovalo na danou skutečnost že v intervalu 4435 – 4395 m byl vrt zúžen a při zapouštění nového vrtného dláta, bude nutné tento interval pomalu přibrat a dopracovat se tak na jeho původní požadovanou velikost.

Nová vrtná kolona byla osazena novým roubíkovým dlátem velikosti $8^{5/8}$, značky Varel do velmi tvrdého podloží a dvěma novými centrátory. Zapouštění probíhalo podle pokynů jež udělil vrtaři vrtný inženýr. Před intervalem kde nastali problémy při tažení nářadí což poukazovalo na fakt že, nejspíše od této doby byl vrt postupně zúžen. Byl přivolán do kabiny vrtaře vrtný inženýr aby dohlédl na zapouštění v kritickém intervalu který bylo zřejmě nutné přibrat a rozšířit tak původní zúžený vrt. Avšak tato činnost (přibírání) je spojena s větší časovou náročností a tak bylo rozhodnuto aby vrtař pokračoval v zapouštění jako doposud a to bez rotace vrtného nářadí a cirkulace.

V hloubce cca 4421 m došlo k uvíznutí nářadí a to nasednutí váhou lehce nad 25 tun. V první fázi byla snaha uvolnit nářadí tahem nahoru, ale neúspěšně. Další pokus o uvolnění probíhal pomocí snahy rozrotovat nářadí. Tento pokus se ovšem také nezdařil. Přistoupilo se tedy k situaci kdy, byli využity dvojčinné havarijní nůžky jež jsou obvyklým komponentem ve vrtné koloně a to z důvodu jakékoliv havárie spojené s uvíznutím nářadí. Havarijní nůžky byli tedy aktivovány a proběhla jejich činnost směrem nahoru. Jelikož se zdálo že nářadí není stále volné, byla opakována činnost havarijních nůžek směrem nahoru, taktéž neúspěšně. Následovalo pár pokusů o uvolnění nářadí napínáním a rotací a posléze kombinací těchto činností. Neúspěšně. Došlo tedy k pokusu o aktivaci havarijních nůžek směrem dolů. Po jejich činnosti došlo okamžitě k uvolnění nářadí, což bylo potvrzeno obnovenou rotací a možným pohybem směrem nahoru. Po krátké poradě vrtného inženýra se svými kolegy bylo rozhodnuto o vytažení vrtného nářadí a jeho následné kontrole. Při tažení nářadí, nebyli pozorováni žádné anomálie a tak byl předpoklad že je vše v naprostém pořádku. Avšak po vytažení vrtného dláta na rotační stůl bylo zjištěno jeho úplné zničení. (Obrázek 15)



Obrázek 15: Destrukce dláta při činnosti havarijních nůžek směrem k počvě vrtu, lom v ramenech dláta (vlastní zdroje, 2018)

K této nehodě a následné destrukci došlo nejspíše z několika důvodů. Tím hlavním bylo opomenutí nebo nerespektování skutečnosti že vrt je v daném intervalu zúžen o hodnotu jež byla naměřena při vytažení kolony na předchozím dlátu a činila cca

25,4 mm. A daný interval nebyl dostatečně přibrán a propracován. K destrukci dláta ulomením roubíkových válečků v ramenech došlo nejspíše v momentu, kdy při snaze uvolnit vrtnou kolonu bylo rozhodnuto o aktivaci havarijních nůžek směrem dolů k počvě. Tedy do intervalu jež byl ještě užší, než místo v kterém bylo dláto uchyceno. Při aktivaci nůžek došlo k hydraulickému otřesu který je odhadován na 25 – 30 tun plus váha nářadí která byla v dané situaci okolo 60 tun. Čili v daný moment byl součinitel jež působil na ramena vrtného dláta cca 90 tun. Přípustný přítlak při vrtání plného profilu (ne přibrání kdy dochází k svírání ramen) tohoto typu dláta o velikosti $8^{5/8}$ je 18 – 20 tun.

4.2. Likvidace havárie – fishing job

Po této havárii následovala další chybná rozhodnutí, která vedla k dalším komplikacím. Tato rozhodnutí byla učiněna ve snaze o vytažení části dláta jež zůstala ve vrtu. Jednalo se o tři ramena z roubíkového dláta spolu s kolečky, které byli osázeny roubíky. O tom vypovídá obr. 13, zničeného roubíkového dláta.

Operace jež následovala a měla za úkol dostat z vrtu zbytky zničeného dláta je nazývána: tvz. Fishing job.

Fishing job byl zahájen zapouštěním magnetu jež se využívá v podobných situacích.

Úkolem magnetu bylo za využití magnetických sil zmagnetizovat zbylé kovové části dláta a vytáhnout je z vrtu. (obrázek 16)



Obrázek 16: Magnet jež je využíván při Fisingu (vlastní zdroje, 2016)

Bohužel tato operace byla spojena s komplikacemi a to především díky skutečnosti že u počvy vrtu již byla vysoká teplota a proto kvůli měřicímu systému MWD bylo zapouštěno od hloubky 3600 m s propalchem. Při zapouštění byla použita litráž o hodnotě 2500 l/min. Avšak daný typ magnetu, který byl použit pro tento fising job neměl proplachovací trysky v čele jako u magnetu na obrázku 13. Nýbrž jeho proplachovací trysky bylo na těle magnetu a to z boku. Takže při zapouštění magnetu s proplachem docházelo k vymývání kaveren ve stěnách vrtu a vysedání úlomků nad počvou vrtu. Tato skutečnost měla za následek nasednutí magnetu nad počvou a to o více jak 25 m. A jelikož nebyla možnosti kvůli chybějícím čelním tryskám odpláchnou daný sediment pod magnetem, byla tato operace neúspěšně ukončena.

Po neúspěšném fishingu a vytažení magnetu, následovala další operace a to zapuštění hybridního dláta tzv. - Kymera Hybrid Drill Bit (obrázek 17)



Obrázek 17: Kymera – Hybrid Drill Bit (vlastní zdroje, 2018)

Po sestavení nové vrtné kolony v čele s hybridním dlátem – **Kymera**, se pokračovalo v klasickém zapouštění až do inkriminovaného intervalu kde došlo k havárii roubíkového dláta a jeho následné destrukci při snaze uvolnit jej. Od daného intervalu byl vrt postupně přibírán a kontinuálně se postupovalo k počvě. Nad počvou vrtu a tedy místem, kde byli ulomená ramena s válečky z předchozího dláta bylo rozhodnuto o vycirkulování jednoho objemu vrtu tzv. – „bottom up“. Po vycirkulování bylo zahájení vrtání/frézování ostatků roubíkového dláta. Přibližně po 4 hodinách byla tato akce, kdy došlo minimálně dvakrát k zastavení rotace a nárustu tlaku v tlakovém vedení a odvrtu cca 30 cm odvolána. Následoval příkaz o vytažení kolony. Tato operace probíhala bez komplikací. Po vytažení dláta o ceně cca 60 000 € a doby práce cca 4 h, kdy životnost dláta při správném užití je bezmála 30x větší, bylo již od pohledu jasné že dláto je tzv. - „po smrti“ v nefunkčním stavu. (obrázek 18)



Obrázek 18: Kymera – Hybrid Drill Bit po 4 h práce ve vrtu s přítomností částí roubíkového dláta (foto vlastní zdroje, 2018)

Po této skutečnosti bylo rozhodnuto o přecementování daného intervalu a o vytvoření nového úhybu, díky němu se podařilo vyhnout problematickému intervalu, kde byla zhavarovaná část roubíkového dláta.

Za situace kdy, bylo opomíjena skutečnost, že je vrt v daném intervalu zúžen a nebyla této skutečnosti věnována dostatečná pečlivost, došlo k havárii dláta, kdy další nešťastná rozhodnutí a použití nářadí, které nebylo plně vhodné k užití v daný okamžik, zapříčinilo časovou ztrátu a to bezmála 14 dní a s tím spojené navýšení nákladů na projekt.

5. Závěr

Geotermální energie čím dál víc vstupuje do podvědomí občanů a je brána jako energií zelenou. V době kdy je snaha přecházet z klasických fosilních paliv (ropa a zemní plyn) na alternativní zdroje (obnovitelné) je logické že se zvyšuje zájem o nové geotermální projekty a to z hlediska především vysoko potenciálních zdrojů (teplárny a elektrárny). Abychom byli schopni vytvořit geotermální projekt, potřebujeme tedy nejméně dva vrty – injektážní a produkční, dále pak soupravu, která je schopna dosáhnou při vhodné kombinaci nářadí hloubek 5000 m a více, kde se vyskytují geotermální zdroje v Evropě. Jelikož je každý projekt svými geologickými podmínkami specifický, nelze dopředu předpokládat zda-li bude na projektu zvýšené riziko havárií a poruch. Avšak už jen díky skutečnosti že geotermální vrty jsou vrtány v oblasti granitoidních hornin, je tu větší riziko opotřebení nářadí a tím spojené možnosti havárie. Když k této skutečnosti přičteme součinitel hlubokého vrtu = čím déle vrtáme tím je větší možnost havárie.

Docházíme ke skutečnosti, že výskyt havárií na geotermálních projektech je častějším jevem než na vrtech na uhlovodíky (ropa a zemní plyn). Díky mojí osobní zkušenostem z vrtání geotermálních vrtů, můžu potvrdit, že problémy a komplikace jsou spojené především při dovršťování závěrečných sekcí. Nespočet příchvatů a záválů doprovázeno ztrátou rotace či cirkulace je běžnou denní rutinou. V tento okamžik tak velmi záleží na pohotovosti reakci vrtaře a taky zkušenostech při řešení podobných krizových situací. Komplikace či havárie je na denním pořádku v naftovém průmyslu a obzvlášť u realizace geotermálních projektů. Jejich zdárné řešení a zmáhání je prvotně v rukou vrtaře a následně o dalších postupech rozhoduje „company man“ (specialista najímaný investorem pro řízení vrtných operací). Již několikrát jsem byl svědkem, že zcela vhodnými rozhodnutí od „company mana“ která vedla k ještě větším problémům.

Všechny mé zkušenosti s geotermálními vrty jsem získal jako obsluha vrtné soupravy Bentec 450AC. Byl jsem přítomen u všech zmiňovaných havárií a mnoha dalších. Řešení těchto havárií jsem měl možnost sledovat a získat tak cenné zkušenosti do budoucna.

Seznam použité literatury

1. ARNÓRSSON, S., Thórhallsson, S., Stefánsson, A. Chapter 71 - *Utilization of Geothermal Resources*. In: Sigurdsson, H. (ed.). *The Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, 2015. s. 1235-1252, ISBN: 9780123859389. [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: https://ac.els-cdn.com/B9780123859389000717/3-s2.0-B9780123859389000717-main.pdf?_tid=spdf-cc508010-50fe-46db-be08-6a4675efb491&acdnat=1519589840_3c7ad85f8701d9422276d508ee3dfb90
2. BRGM, Geoscience for sustainable Earth [online]. *Geothermal energy: measurement campaigns in Alsace and Auvergne* ©2017 [cit. 29.4.2018]. Dostupné z : <http://www.brgm.eu/project/geothermal-energy-measurement-campaigns-alsace-auvergne>
3. COAKLEY, T., Duffy, N., Freiberg, S., Fresner, J., Houben, J., Kerm, H., Krenn, Ch., McCarthy, C., Raupenstrauch, H. *Energetická účinnost průmyslu* [online] IUSES, září 2009 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999643-Energeticka-ucinnost-v-prumyslu-studentska-prirucka.html>
4. DIPIPO, R. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. USA: Elsevier, 2012. ISBN: 978-0-7506-8620-4. Dostupné z: https://www.ucursos.cl/usuario/c658fb0e38744551c1c51c640649db2e/mi_blog/r/Geothermal_Power_Plants.pdf
5. DŘÍMAL, P. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. Brno: Střední škola informačních technologií a sociální péče, 2016. ISBN: 978-80-88058-05-2 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/Cover.html>
6. CHAMORRO, C. R., García-Cuesta, J. L., Mondéjar, M. E., Pérez-Madrado, A. Enhanced geothermal systems in Europe: An estimation and comparison of the technical and sustainable potentials. *Energy*, 2014 (65), 250 - 263 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: https://ac.els-cdn.com/S0360544213010487/1-s2.0-S0360544213010487-main.pdf?_tid=spdf-821166fe-14da-460a-ad06-8ec9c0dd285c&acdnat=1519589092_0d22ba42b27660b3ee18c2bf4b477627
7. KEPIŇSKA, B. Geothermal energy use in Europe [online]. *Geothermal tranining programme*, 2008 (14) [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-30-ann/UNU-GTP-30-40.pdf>

8. KŘIVOHLAVÝ, P. *Litoměřice chtějí topit teplem z hlubin, letos založí výzkumné centrum* [online]. 5. 4. 2017 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: https://usti.idnes.cz/litomerice-vyuziti-hlubinne-geotermalni-energie-pro-vytapeni-a-doplňkovou-vyrobu-elektriny-ifx-/usti-zpravy.aspx?c=A170404_2317078_usti-zpravy_vac2
9. MICHL, P. *Island testuje nový zdroj. Magma slibuje revoluci v energetice* [online]. 25. 10. 2016 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/island-testuje-novy-zdroj-magma-slibuje-revoluci-v-energetice-1311269>.
10. MYSLIL, V., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K., FRYDRYCH, V. Geotermální energie: Ekologická energie z hlubin Země - současné možnosti využívání. [online]. *Planeta*, 2007, (15) 4 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: https://prvnigeotermalni.cz/upload/4084e9a33cc28c0fe8e25501a8bcb01/geotermalni_energie_myslil_4.pdf
11. PINKA, Ján, Martin KLEMPA a Jaroslav STRUNA, ZEMAN, Vojtěch, ed. *Technika a technologie vrtných prací*. Ostrava: Marionetti Press, 2014. ISBN 978-80-905737-0-3.
12. PINKA, Ján, Martin KLEMPA a Jaroslav STRUNA, ZEMAN, Vojtěch, ed. *Technika a technologie vrtných prací*. Ostrava: Marionetti Press, 2014. ISBN 978-80-905737-1-0.
13. RYAN, V. *Flash steam power plant* [online]. © 2002-2017 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://www.technologystudent.com/energy1/geo4.html>
14. SCHNEIDERWIND, Jaroslav. *Problematika havárií při hlúbení vrtov na naftu a plyn I*. Košice 1976. ISBN 83-037-76
15. ŠKORPÍK, J. Využití tepla Země. *Transformační technologie*, 2006-11, [last updated 2014-06]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. [cit. 2018-02-19]. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/08.html>.
16. ŠPIČKOVÁ, I., ŠTURCOVÁ, J., ŠUDRICHOVÁ, M. *Využití geotermální energie* [online]. 2010 [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/vyuziti_geotermalni_energie.pdf
17. STRNIŠTE, Karel. *Hlbinné vrtanie*. Bratislava: Alfa, 1992. ISBN 80-05-01031-1.
18. VOBOŘIL, D. *Geotermální energie* [online]. © OEnergetice.cz, 2018 [cit. 2018-02-17]. <http://oenergetice.cz/elektrina/geotermalni-energie/>

19. YAN, Z. *Binary Power Plants* [online]. Stanford, 2011 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/yan2/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Princip HDR elektrárny Zdroj: Dřimal, 2016	12
Obrázek 2: Elektrická energie celosvětově produkovaná z geotermálních zdrojů v roce 2010 a plánovaný nárůst do roku 2015 (Arnórsson, Thórhallsson a Stefánsson, 2016)	15
Obrázek 3: Schéma geotermální teplárny (Dřimal, 2016)	16
Obrázek 4: Geotermální zdroje v hloubce 2 km v Evropě (Chamorro <i>et al.</i> , 2014)..	17
Obrázek 5: Výměna tyčových čelistí 5 ½ “ za pažnicové 9 5/8 “ před pažením technické kolony (foto vlastní zdroje, 2018).....	23
Obrázek 6: Základní parametry ocelových tyčí dle normy API (Schneiderwind, 1985	25
Obrázek 7: Uváznutí karotážní sondy v zátěžce při měření (foto vlastní zdroje, 2018).	28
Obrázek 8: Deformované PDC dláto nejspíše vypadanými roubíky předchozího vrtného dláta (vlastní zdroje, 2017)	30
Obrázek 9: Ukroucení vrtné tyče při havarijních pracích v důsledku namáhání na zkrut i tah současně(vlastní zdroje, 2018).....	32
Obrázek 10: Náčrtek kontaktu zátěžky se stěnou vrtu pokrytou výplachovou kůrou	34
Obrázek 11: Fotografie věže Benteck 450 na lokalitě VDH – GT - 1 (foto vlastní zdroje, 2017)	36
Obrázek 12: Geologické schéma a plánované umístění pažnicových kolon na projektu VDH – GT- 1 (vlastní zdroje, 2017).....	36
Obrázek 13: Opatření spojnů tyčí způsobeno nejspíše abrazivní horninou (vlastní zdroje, 2018)	37
Obrázek 14: Opatření spojnů tyčí způsobeno nejspíše abrazivní horninou a následné poškození závitu způsobené kroutícím momentem. (vlastní zdroje, 2018)	38
Obrázek 15: Destrukce dláta při činnosti havarijních nůžek směrem k počvě vrtu, lom v ramenech dláta (vlastní zdroje, 2018)	39
Obrázek 16: Magnet jež je využíván při Fisingu (vlastní zdroje, 2016).....	41
Obrázek 17: Kymera – Hybrid Drill Bit (vlastní zdroje, 2018).....	42
Obrázek 18: Kymera – Hybrid Drill Bit po 4 h práce ve vrtu s přítomností částí roubíkového dláta (foto vlastní zdroje, 2018).....	43

